

液晶デバイスの複屈折の解析と制御および高品位ディスプレイへの応用

著者	柴? 稔
号	2803
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10097/8076

氏 名	しば ざき みのる 柴 崎 稔
授 与 学 位	博士（工学）
学位授与年月日	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	液晶デバイスの複屈折の解析と制御 および高品位ディスプレイへの応用
指 導 教 官	東北大学教授 内田 龍男
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 内田 龍男 東北大学教授 宮城 光信 東北大学教授 伊藤 弘昌 東北大学助教授 宮下 哲哉

論文内容要旨

第 1 章 序論

近年、エレクトロニクス技術の急速な進歩により高度情報化社会が発展し、電子機器の高性能化、人工知能化が進んできている。それら電子機器から人間への情報伝達は人間の五感を通して行われ、特に視覚による情報の取得は情報量の 85% を占めていると言われている。したがって、マンマシンインターフェイスとしてのディスプレイやプリンターなどが非常に重要な伝達手段となっている。一方、情報機器の発展は目覚しく、ダウンサイジングや低コスト化により、パーソナルコンピュータや携帯電話のような情報端末のパーソナル化と情報ネットワーク化が急速に進み、今や情報端末は一人一台のものになりつつある。したがって、装置の占有スペースと消費電力の低減が重要な課題となってきている。

フルカラー液晶ディスプレイ(LCD)は低消費電力、薄型、軽量という特長から表示素子として注目を浴びている。また、フルカラーLCD はテレビやマルチメディアに対応するフルカラー動画用ディスプレイとしても大いに期待されており、近い将来、高度な携帯情報端末の普及、および、マルチメディアの発展に伴い、フルカラーLCD のさらなる高品位化や低消費電力化が必要になることが予測される。

現在、超低消費電力フルカラーLCD として反射型フルカラーLCD が提案されている。しかし、そこに使用されている液晶モードは、暗表示状態においては波長依存性がなく可視光全域にわたって反射率が低く良好な黒が得られるが中間調表示状態では波長依存性が生じ着色したり、視角の変化に対して暗表示状態の反射率が変化しコントラストが著しく低下したりするという問題点がある。

液晶ディスプレイは、バックライトから射出される光の偏光を変調させて表示を行なう表示モードであることから、これらの問題点を把握するためには、液晶層に入射した光が液晶層中を通過するときに生じる偏光状態の変化を解析することが非常に重要なことである。そこで本論文では液晶デバイスにおける偏光状態の解析を行ない、それに基づいて最適制御することによる新しい設計方法を確立し、次世代に必要な超低消費電力 LCD の実現、および広視野角ディスプレイを実現させるための光学フィルムの設計を行なった。

第2章 高品位反射型 LCD の設計

本章では、超低電力ディスプレイとして実用化が進んでいる反射型 LCD を取り上げ、その高品位化のための設計について述べている。

まず、反射型 LCD の液晶層を通過する光の偏光状態の詳細な解析を行ない、反射型 LCD の鏡上での偏光状態と反射率には相関関係があることを示した。反射率が 1 となる場合には鏡上で任意の直線偏光となり、反射率が 0 となる場合は方位の関係ない円偏光となる。従来の設計では、反射率が 0 となる場合に鏡上で円偏光になるという特徴だけを利用したものであった。中間調に関しては楕円偏光を入射し、その光が直線偏光となる条件で設計は行なえるが、楕円偏光の方位を決める必要があることから、方位のパラメータが増え設計の際に非常に不都合となる。そこで、従来の反射型 LCD の設計方法を拡張し、液晶層の鏡側から円偏光を入れた場合の偏光状態と反射率について検討したところ、図 1 に示すように全ての階調の反射率を求めることができることを示した。これにより、従来黒表示状態での設計しか行なえなかったが、中間調表示状態も設計できることがわかる。

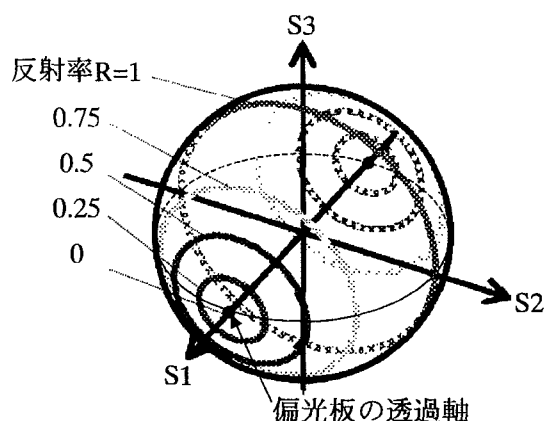


図1 反射率Rと偏光状態の関係

さらに、従来中間調は液晶層に電圧を印加した際の複雑な配向計算を Oseen-Frank の弾性体理論から求めるという別プロセスが必要であったため、黒表示状態と中間調表示状態を同時に設計することができなかった。そこで、中間調状態における液晶層のミューラー行列を解析することにより、液晶層のミューラー行列のリタデーションを変化させることと、電圧を変化させることはほぼ同じ効果を与えることを示した。この性質を用いることにより、反射型 LCD の液晶層の設計において中間調の分子配向計算という別プロセスを省くことができ、暗状態だけではなく中間調の設計も非常に容易に行なえることを示した。

また、3 枚の位相差フィルムからなる広波長帯域 $\lambda/4$ 板の波長分散を制御する理論を発展させることにより、ねじれ配向を用いることによりフィルム枚数が一枚しか用いない反射型 LCD の設計条件を明らかにした。

さらに、パネル法線に対して斜め方向の詳細な偏光解析を行なうことにより、液晶層のミューラー行列が鏡に対して対称であることに着目し、正面でしか成り立たないと思われていた設計方法を斜め方向に拡張できることを示した。これにより、2 軸性位相差フィルムを用いることで広い視角範囲にわたって黒状態の視角補償をすることができることを示した。

以上の結果を基に設計した反射型 LCD の波長特性と視角特性を図 2 および図 3 に示す。これらの図より、赤、緑、青の各画素に同じ中間調の電圧を印加した場合でも全ての階調で c^* を 7 以下とすることができ、さらに、広い視角範囲でコントラスト特性を改善することができ、ほぼ全ての視角範囲でコントラスト比が 5 以上を実現している。

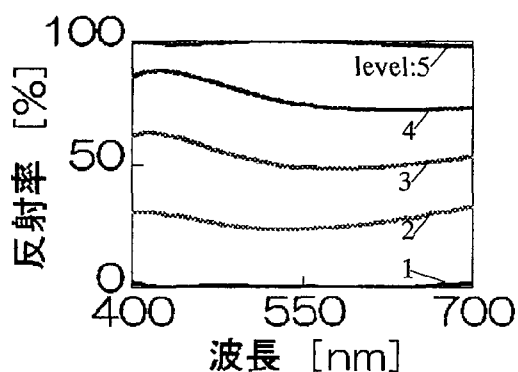


図2 本研究で設計した反射型LCDの5階調での波長-反射率特性

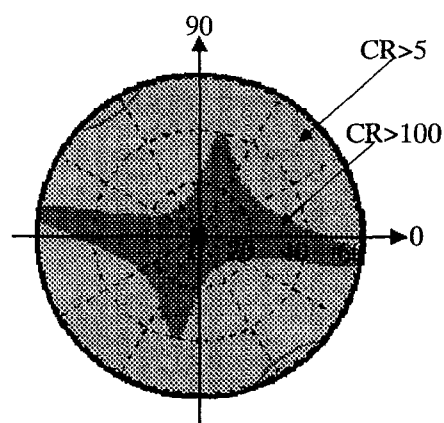


図3 等コントラスト曲線

第3章 視角補償フィルムについての考察

本章では、反射型だけでなく透過型液晶ディスプレイも含め、補償用の位相差フィルムを二軸性位相差フィルムに限定せずに任意の光学異方性をもたせ得るものとして一般的光学補償の条件について検討している。

斜め入射時における液晶層の視角特性の変化の解析を行ない、全ての液晶モードに適応できる、全視角および全方位で高コントラストが得られる視角補償フィルムの設計方法について考察を行ない、補償フィルムを実現するためのパラメーターを導出した。

図4および図5に透過型および反射型LCDに適応した場合の等コントラスト特性を示す。これらの図を見ると、ほぼ全ての視角範囲でコントラスト比が100以上を実現させ得る可能であることを示している。

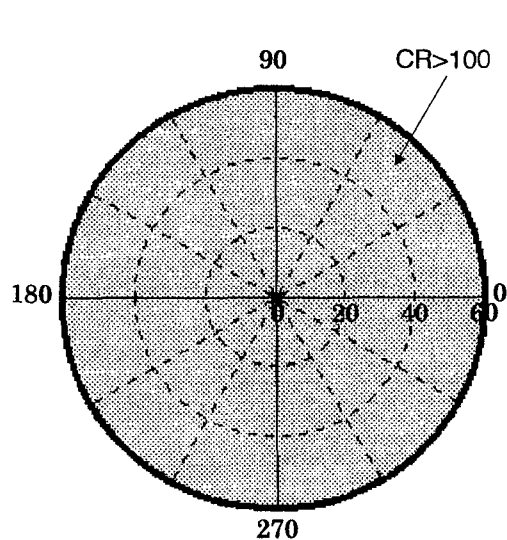


図4 透過型TNモードの等コントラスト曲線

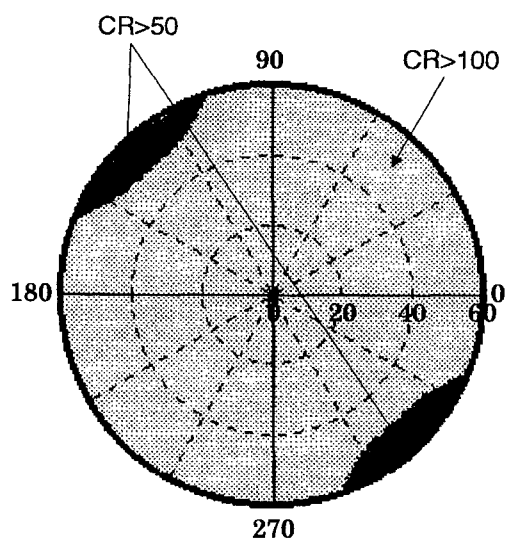


図5 反射型TNモードの等コントラスト曲線

第4章 結論

本研究では、液晶デバイスにおける偏光状態の解析を行なうことで、以下のことを明らかにした。

- 1、 反射型 LCD の液晶層を通過する光の偏光状態の詳細な解析を行ない、反射型 LCD の反射率と鏡上での偏光状態との間には 1 対 1 の関係があることを示した。また、従来の反射型 LCD の設計方法を拡張し、液晶層に円偏光を入れるだけで暗状態だけでなく、全ての階調の反射率を求めることができることを示した。
- 2、 液晶の電圧印加時の複雑な分子配向を単純化する新しい考えを導入することで、中間調の近似方法を確認した。これにより、これまで液晶層の複雑な配向を計算しなければならなかったが、そのような計算をせずに全ての中間調の光学計算が同時にできることを示した。
- 3、 パネルに対し斜め方向の詳細な偏光解析を行なうことによって、液晶層のミューラー行列の対称性に着目し、正面でしか成り立たないと思われていた設計方法を斜め方向に拡張できることを示した。これにより、光学的 2 軸性フィルムを用いることにより全視角にわたってコントラストを 5 以上とすることができた。

以上の結果から、3 枚のフィルムからなる広波長帯域 $\lambda/4$ 板の理論を発展させ、ねじれ配向を用いることにより、フィルム枚数が少ない、赤、緑、青の γ 特性がほぼ等しい、広視野角特性を有するなどの特徴をもつ反射型 LCD の最適設計条件を明らかにした。

また、パネルに対して斜め方向の液晶層の視角特性の変化を詳細に解析をし、ディスコティック液晶フィルムの内部の光軸傾斜角の分布と厚さを制御することで、反射型、透過型を問わず、全ての液晶モードに適応できる視角補償フィルムを設計することができた。

以上の結果から、反射型、透過型を問わず、全方位、全視角にわたりコントラスト比が 100 以上となる視角補償条件を導出することができた。

本研究により、次世代の高品位 LCD を実現できることを実証した。

論文審査結果の要旨

高度情報化社会の発展と共に、液晶ディスプレイ（LCD）は表示媒体としてその重要性がますます高まっており、さらなる高品位化が必要とされている。現在広く実用されている LCD では偏光を制御することによって光の透過率を変化させる方式が用いられているが、従来、この設計は正面方向から観察した場合の黒状態の光漏れをできるだけ低く抑えることに主眼が置かれていた。しかし、白状態の透過率や波長依存性、あるいは視角による中間調反転や色変化などの最適化などについて体系的な設計理論が確立されていなかった。本研究では位相差フィルムを用いて液晶を透過する偏光を制御して液晶ディスプレイの広視野角化、高コントラスト化のための設計指針を確立したものであり、全編 4 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景および目的を述べている。

第 2 章では、超低電力ディスプレイとして実用化が進んでいる反射型 LCD を取り上げ、その高品位化のための偏光設計について述べている。すなわち、反射型 LCD の液晶層にねじれ配向をもたせた場合、二軸性位相差フィルムと同じ取り扱いができること、その実効的屈折率異方性はねじれ配向角によって制御し得ることなどを見いだした。この特性を応用し、1 枚の二軸性位相差フィルムと組み合わせることによって、広視野角かつ広波長帯域にわたって明るい高コントラストの反射型 LCD を実現する新しい光学設計の方法を確立した。又、赤、緑、青の各光に対する γ 特性を一致させるための液晶層と二軸性位相差フィルムの光学設計条件を明らかにし、斜め方向から観察しても色の変化が生じない反射型 LCD の設計条件を明らかにした。これにより、従来の一軸性位相差フィルムで光学補償を行う反射型 LCD と比較してコントラストや視野角を大幅に改善することができる。たとえば一般にコントラスト 5 以上が実現できる角度として定義される視野角は最悪の方位でも 60 度と、従来の 1.5 倍以上拡大できることを示している。さらに、これらの設計理論に基づいて実際に対角 14.5 インチの反射型 LCD を試作し、コントラスト、視野角、反射率などの点で所望の結果が得られることを確認している。これは次世代の高品位反射型 LCD の設計理論として重要な成果である。

第 3 章では、反射型だけでなく透過型液晶ディスプレイも含め、補償用の位相差フィルムを二軸性位相差フィルムに限定せずに任意の光学異方性をもたせ得るものとして一般的光学補償の条件について検討している。その結果、液晶の傾斜配向角や印加電圧の範囲を特定の範囲に限定すると共に、負の光学異方性を持つディスコティック液晶を補償用位相差フィルムとして用いることによって、中間調反転のない広視野角・高コントラストの液晶ディスプレイを実現する設計理論を確立した。具体的には、すべての視角においてコントラスト 100 以上を達成できることを示している。白状態の透過率や透過スペクトルの最適化などについてはまだ今後の課題として残されているが、理想的な液晶ディスプレイを実現する光学設計の指針を明らかにした点は高く評価できる。

第 4 章は結論である。

以上要するに本論文は、液晶デバイスにおける偏光状態を制御する新しい設計方法を確立し、次世代の高品位ディスプレイを実現するための指針を明らかにしたものであり、画像電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。